

## **Коммунальное хозяйство городов**

---

грами «Автомобільні дороги на техногенно-деформованих територія» // Автошляховик України. – 1996. – №3. – С.35-37.

5.Білятинський О.А., Пеньков В.О. Оцінка впливу підземних гірничих робіт на рівність автомобільних доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1997. – Вип.56. – С.159-162.

6.Білятинський О.А., Пеньков В.О. Шилін І.В. Про вплив підземних гірничих робіт на профіль дороги та витрати палива // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1998. – Вип.56. – С.118-125.

*Получено 16.01.2006*

УДК 625.72 : 656.11

Л.С.АБРАМОВА, канд. техн. наук, С.В.КАПІНУС

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

### **ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ МАНЕВРУВАННІ**

Розглядаються питання взаємодії транспортних засобів у потоці на підставі імітаційного моделювання. Наведений алгоритм обгону дає можливість отримання значень параметрів руху транспортних засобів при наявності натурних даних відносно дорожніх умов руху.

Сьогодні в Україні спостерігається стрімкий ріст рівня автомобілізації та залежності людини від автомобільного транспорту. Це в свою чергу тягне низку проблем в забезпеченні організації та безпеці дорожнього руху. Безпека руху, швидкість автомобіля в потоці залежать в значній мірі від того, як здійснюється маневрування автомобілів на дорозі. Зі збільшенням завантаження дороги та зниженням рівня зручності руху в порівнянні з вільними умовами, автомобілі в потоці починають взаємодіяти між собою (маневрувати). Ця взаємодія виражається в здійсненні обгону, об'їзду, у зміні траєкторії руху, утриманні дистанції до попереду їдучого автомобіля, підтриманні швидкості, близької до швидкості потоку [1]. Маневруючі транспортні засоби мають великий вплив на інтенсивність та швидкість транспортного потоку, а саме при високій інтенсивності та великій кількості маневрів швидкість транспортного потоку різко зменшується, що приводить до великої щільності потоку і аварійності. Головним чином, здійснення маневрів залежить від дорожніх умов. Відомо, що велика кількість маневрів при достатній безпеці руху спостерігається на дорогах з широкою проїжджою частиною та обладнаним узбіччям. Обгін, при змішаному русі на дорозі є таким видом маневру, що найбільш розповсюджений [2]. Інші види маневрів мають характеристики, схожі з характеристиками обгону, тому процес обгону надає загальне уявлення про маневри на автомобільній дорозі. Можна зробити висновок, що обгін

це базовий маневр транспортних засобів і тому викликає інтерес для дослідження з позиції визначення параметрів його реалізації на дорозі.

Широке застосування для оцінки якості організації руху, а також при рішенні задач, пов'язаних із розробкою схем регулювання дорожнім рухом може знайти імітаційне моделювання, що припускає алгоритмічний опис досліджуваного процесу замість аналітичного та дозволяє проведення модельного експерименту.

Метою даного дослідження є побудова імітаційної моделі маневрування транспортних засобів у потоці для подальшого застосування у комплексному алгоритмі управління транспортними потоками або самостійно для розрахунків параметрів схем організації і регулювання дорожнього руху.

Розроблена імітаційна модель обгону має блочну структуру. Перший блок – це блок введення вихідних даних, другий – розрахунок параметрів обгону в початковій фазі обгону, в третьому – порівняння дистанції безпеки з динамічним габаритом, якщо порівняння виконується, розраховується швидкість обгоняючого автомобіля в кінці обгону та порівнюється з граничнодопустимою швидкістю на ділянці дороги, після чого видається повідомлення про можливість чи заборону маневру обгону.

Описати об'єкт дослідження можна за допомогою схеми обгону, наведеною на рис.1, де відображені наступні позначення:  $i$  – обгоняючий автомобіль;  $i+1$  – автомобіль, що обганяють;  $i-1$  – автомобіль, що йде позаду обгоняючого;  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  – швидкості автомобіля, що обганяє, відповідно спочатку, під час обгону і наприкінці обгону, м/с;  $L_0$  – динамічний габарит, м;  $l_a$  – довжина автомобіля, м;  $d_{11}$  – перша дистанція безпеки між  $i$  та  $i-1$  автомобілями, м;  $d_2$  – друга дистанція безпеки, тобто відстань між автомобілями, що перебудувалися, м.

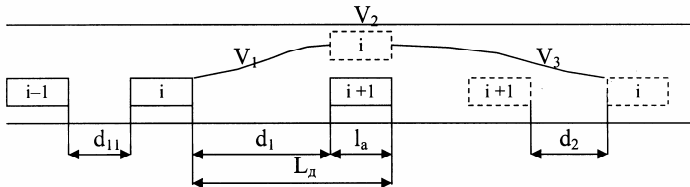


Рис.1 – Схема обгону

Запропонований модельний алгоритм процесу обгону враховує параметри швидкості спочатку ділянки обгону, під час самого обгону і наприкінці обгону, а також відстань безпеки руху між учасниками об-

гону (рис.2).

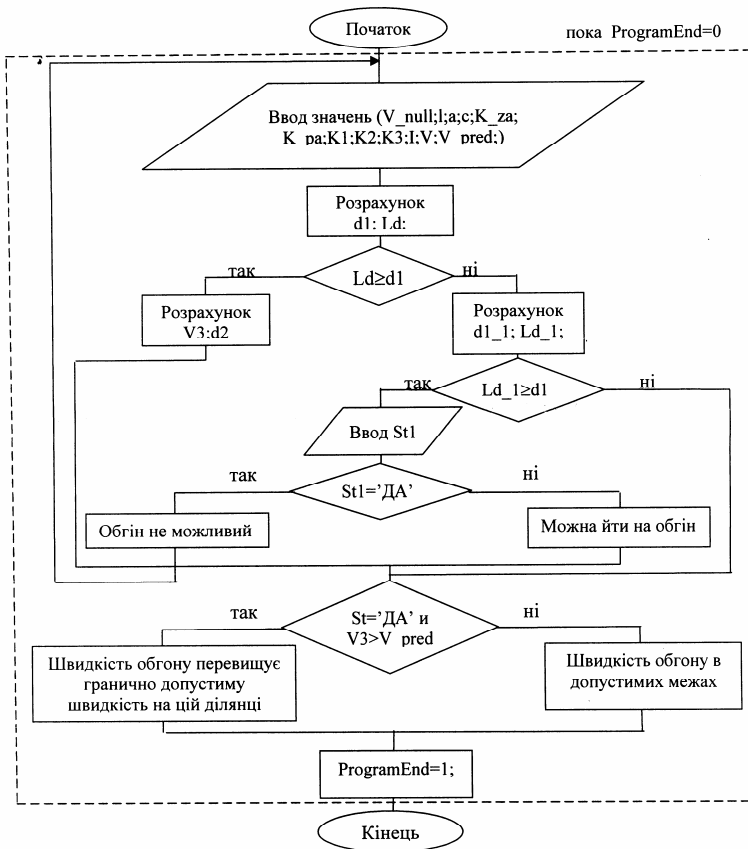


Рис.2 – Запропонований алгоритм процесу обгону

Опишемо ситуацію обгону, на якій розглянемо запропонований алгоритм.

Швидкість вільного руху швидкохідного автомобіля  $V$  (м/с) з наближенням до попутного автомобіля падає, приймаючи перед обгоном мінімальне значення  $V_1$ , м/с, яке можна визначити за формулою, одержаною при статистичній обробці результатів спостережень [3]:

$$V_1 = V_0 + \Delta V_1 = V_0 + \frac{k_1(13 - k_2 V_0) + 15}{kk_2 l''}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що характеризує використання ширини проїжджої частини автомобілем, що обганяють;  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує умови видимості перед обгоном;  $k_2$  – коефіцієнт, що враховує вплив умов руху перед обгоном;  $V_0$  – швидкість руху автомобіля, що обганяють, м/с;  $l$  – довжина автомобіля, що обганяють, м.

Коефіцієнт  $k$  визначає використовувану автомобілем, що обганяють, ширину проїжджої частини і дозволяє оцінювати вплив ефективної ширини на швидкість перед обгоном іншого транспортного засобу. Він розраховується за формулою [3]

$$k = \Pi / B, \quad (2)$$

де  $\Pi$  – динамічний габарит автомобіля, що обганяють [3]:

$$\Pi = (a + c) / 2 + 0,85 + 0,01 V_0, \quad (3)$$

де  $a$  – ширина кузова автомобіля, м;  $c$  – ширина колії автомобіля, м;  $B$  – ширина проїжджої частини, м.

Автомобіль, що йде попереду, обмежує поле зору для водія автомобіля, що обганяє, заважаючи йому оцінювати обстановку. Коефіцієнт  $k_1$ , значення якого наведено в табл.1, залежить від типу автомобіля, що обганяють, і встановлює взаємозв'язок між характером обмеження поля зору і швидкістю перед обгоном [3,4].

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта  $k_1$

Легкові і легкі вантажні	1,5
Середні вантажні	2,1
Важкі вантажні, автопоїзди, автобуси	2,6

Коефіцієнт  $k_2$  враховує вплив умов руху на швидкість перед обгоном [3].

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта  $k_1$

Обгін в умовах розділення напрямів руху	0,86
Вільні умови руху при малій інтенсивності руху. Зустрічні автомобілі у видимій зоні відсутні. Видимість понад 700 м.	1,00
Велика інтенсивність руху. Зустрічний автомобіль до кінця обгону не далі 150-200 м від того, що обганяє або фактична видимість перед обгоном 500-550 м.	1,15
Обгін в умовах обмеженої видимості. Видимість перед обгоном близько 400-450 м.	1,25

На початку обгону дистанція безпеки  $d_1$  (м) повинна бути менше

або рівна динамічному габариту  $L_\partial$ , м:

$$d_1 \leq L_\partial, \quad (4)$$

$$d_1 = 0,0256V_1^2 + 4, \quad (5)$$

$$L_\partial = V_1 t_p + \Delta S_t + l_a + l_0, \quad (6)$$

де  $V_1$  – швидкість автомобіля, що обганяє, м/с;  $t_p$  – час реакції водія (3 с);  $l_a$  – довжина автомобіля, м;  $l_0$  – зазор безпеки, 1 м;  $\Delta S_t$  – різниця гальмівних шляхів позаду і попереду їдучого автомобілів, м.

$$\Delta S_t = \frac{V^2(K_\partial^3 - K_\partial^n)}{254(\varphi \pm i)}, \quad (7)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення;  $i$  – подовжній ухил дороги;  $K_\partial^3$  – коефіцієнт ефективності гальмування заднього автомобіля;  $K_\partial^n$  – коефіцієнт ефективності гальмування переднього автомобіля;  $V^2$  – середня швидкість між швидкостями переднього і заднього автомобілів.

Якщо ця умова виконується, то можна здійснити обгін. Припустивши, що швидкість з початку обгону зростає за лінійним законом, можна визначити  $V_2$ , м/с, за формулою [3, 4]

$$V_2 = V_0 + \Delta V_2 = V_0 + \sqrt{2d_1 a + \Delta V_1^2}, \quad (8)$$

де  $a$  – прискорення автомобіля, що обганяє м/с<sup>2</sup>.

$$a = 1,5 - 0,024(V_1 + \bar{V}), \quad (9)$$

де  $\bar{V}$  – швидкість вільного руху на досліджуваній ділянці дороги, м/с.

Таким чином, маємо можливість визначити  $V_2$  залежно від умов руху і співвідношення швидкостей автомобілів перед обгоном.

Якщо ця умова не виконується, то оцінити чи немає позаду більш швидкохідного автомобіля:

$$d_{11} \geq L_\partial, \quad (10)$$

$$d_{11} = 0,0256V_{11}^2 + 4, \quad (11)$$

$$V_{11} = V_1 + \frac{k_1(13 - k_2 V_1) + 15}{kk_2 l''}, \quad (12)$$

де  $V_{11}$  – швидкість автомобіля ( $i-1$ ), м/с.

У цьому випадку, якщо  $d_{11} \geq L_0$ , то розраховується  $V_2$  і дозволяється обгін.

Якщо  $d_{11} \leq L_0$ , то автомобіль рухається із швидкістю автомобіля, який він обганяє.

Наприкінці обгону швидкохідний автомобіль має швидкість  $V_3$ , яка залежить від умов руху перед обгоном і дорожньої обстановки при його завершенні.

Згідно з наведеним [3, 4] аналізом експериментальних даних, можна стверджувати, що швидкість наприкінці обгону  $V_3$ , м/с, можна визначити за формулою

$$V_3 = V_0 + k_3 \Delta V_2 = V_0 + k_3 \sqrt{2d_1 a + \Delta V_1^2}, \quad (13)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт, що враховує умови руху в завершальній фазі обгону.

Схеми обгону з різними умовами руху при обгоні наведені в табл.3 [3, 4].

Таблиця 3 – Схеми обгонів

№ схем обгону	Умови руху при обгоні
1	Обгін в умовах розділення напрямів руху
2	Обгін за вільних умов руху на двосмуговій дорозі з малою інтенсивністю руху. Зустрічні автомобілі у видимій зоні відсутні. Видимість понад 700 м.
3	Вільні умови руху перед обгоном. До кінця обгону зустрічний автомобіль не далі 150-200 м від того, що обганяє
4	Обгін в умовах обмеженої видимості.
5	Перед обгоном обмеження (обгін з очікуванням). При обгоні обмеження відсутні. Видимість понад 700 м.
6	Обгін при великій інтенсивності руху, в умовах мінімального інтервалу в зустрічному потоці і колонного руху на своїй смузі.

Якщо умови руху при завершенні обгону відповідають схемам 1 і 2, то  $k_3=1,0$ . Для схем 3-6 характерні відповідно такі значення  $k_3$ : 0,85; 1,20; 1,40; 0,20.

Наприкінці обгону потрібен розрахунок дистанції безпеки  $d_2$  (м) між автомобілями, що перебувалися:

$$d_2 = 0,0201V_3^2 + 4, \quad (14)$$

де  $V_3$  – швидкість обгоняючого наприкінці обгону, м/с.

У результаті виконання алгоритму порівнюємо швидкість  $V_3$  із швидкістю граничнодопустимою на цій ділянці дороги  $V_{pred}$  (м/с), після чого перевіряємо умову: якщо  $V_3 > V_{pred}$  видається коментар про заборону обгону або якщо  $V_3 < V_{pred}$  – про можливість обгону.

Таким чином, оператор за результатами алгоритму видає рекомендації про можливість дозволу на досліджуваній ділянці дороги такого маневру, як обгін. Якщо обгін не дозволений, то встановлюється відповідний знак (3.25, 3.27, 3.29, 3.31, 5.30) [6].

Імітаційна модель розроблена у вигляді програми на алгоритмічній мові програмування середовища MATLAB.

Згідно з технологією комп'ютерного моделювання, застосованою у дослідженнях, після програмної реалізації моделі слід провести планування модельних експериментів [5]. Для розробки плану експериментів були обрані реальні вихідні дані, отримані з актів ДАІ обстеження місць скоєння ДТП на ділянках автомобільних доріг Харківської області.

Наведемо приклад розрахунку програми для ділянки автомобільної дороги:

1 Валки – Пархомовка км:24+000

>> XADI

Введіть швидкість авто 15.8

Введіть довжину авто 4.2

Введіть ширину кузова 1.9

Введіть ширину коліс 1.35

Введіть ширину проїзної частини 9

Введіть коеф-т ефективності гальмування заднього авто 0.9

Введіть коеф-т ефективності гальмування переднього авто 0.95

Введіть коеф-т K1 1.5

Введіть коеф-т K2 1

Введіть коеф-т K3 1

Введіть коеф-т Fі 0.6

Введіть коеф-т уклону дороги 0

Введіть швидкість V 15.28

Введіть пред. швидкість 16.67

$V_3 = 20.75$

Швидкість обгону перевищує максимально допустиму швидкість

>>

Останній оператор містить практичну рекомендацію щодо можливості здійснення маневру обгону на досліджуваній ділянці дороги.

Таким чином, після виконання програмного експерименту було отримано рекомендації щодо можливих режимів руху транспортних

засобів: швидкість обгону перевищує допустиму швидкість, тобто обгін заборонено. Ці висновки підтверджують факт скоєння ДТП на цих ділянках, тому що ділянка небезпечна з точки зору дорожніх умов та швидкісних режимів руху.

Отримані при моделюванні результати мають певну практичну значимість. Розроблена модель при дослідженні режимів та параметрів дорожнього руху на проблемних ділянках доріг із складними умовами руху, дозволяє визначити можливість здійснення на них маневрів, а також дає можливість розробити схему розташування відповідних технічних засобів регулювання [6]. Модель може бути застосована у складі алгоритму управління дорожнім рухом, а також при проектуванні доріг.

1.Бируля А.К. Методы исследования движения на автомобильных дорогах // Труды ХАДИ. Вып.17. – Харьков, 1964.

2.Бегма И.В. Исследование движения автомобилей при обгоне // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». Вып.2. – Новосибирск, 1960.

3.Сильянов В.В. Теория транспортных потоков и проектирование дорог и организация движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

4.Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.

5.Гультяев Ю.С. Имитационное моделирование в программе MATLAB. – СПб.: Питер, 2003. – 263 с.

6.Правила дорожного движения Украины. – Харьков: Светофор, 2002. – 88 с.

*Отримано 06.01.2006*

УДК 656.062

А.А.МИХАЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук

*Белорусский государственный университет транспорта, г.Гомель  
(Республика Беларусь)*

## **РАЗВИТИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА**

Рассматриваются вопросы управления ресурсами транспортных предприятий и городской администрации при организации внутригородских пассажирских перевозок различными видами транспорта.

Логистика изначально рассматривалась как товаропроводящая система промышленной отрасли и к пассажирским перевозкам не применялась. Однако с развитием пассажирских внутригородских перевозок стали возникать проблемы, которые потребовали комплексного их решения. Лучшим вариантом постановки и поиска путей решения проблем внутригородского пассажирского транспорта стало использование принципов логистики, адаптированных под решаемые задачи. Одним из ключевых пунктов использования принципов логистики при